

FLOW DIRECTING ASSEMBLY FOR THE COMPRESSION SECTION OF A ROTARY MACHINE

Patent Number:

Publication date: 1997-05-28

Inventor(s): BIEDERMAN BRUCE PHILIP (US); SPEAR DAVID ALAN (US)

Applicant(s): UNITED TECHNOLOGIES CORP (US)

Requested Patent: EP0775249 (WO9600841), B1

Application Number: EP19940922464 19940628

Priority Number(s): WO1994US07301 19940628

IPC Classification: F01D5/14

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

(12) Übersetzung der
europäischen Patentschrift
(97) EP 0 775 249 B 1
(10) DE 694 23 789 T 2

(51) Int. Cl.⁷:
F 01 D 5/14

(73) Patentinhaber:
United Technologies Corp., Hartford, Conn., US

(74) Vertreter:
Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80797 München

(84) Benannte Vertragstaaten:
DE, FR, GB

(12) Erfinder:
SPEAR, Alan, David, Manchester, US; BIEDERMAN,
Philip, Bruce, Meriden, US

(54) STROEMUNGSLEITEINRICHTUNG FUER DEN KOMPRESSORTEIL EINER STROEMUNGSMASCHINE

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 694 23 789 T 2

DE 694 23 789 T 2

Die Erfindung betrifft eine Rotationsmaschine mit einem Verdichterabschnitt, der eine Rotoranordnung oder eine Statoranordnung aufweist. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Anordnung von Strömungsprofilen, die von einer inneren Wand und einer äußeren Wand begrenzt sind. Der Verdichtungsabschnitt wird häufig als der Verdichter oder die Verdichter der Maschine bezeichnet.

Eine Gasturbinemaschine ist ein Beispiel einer Rotationsmaschine mit einem sich axial erstreckenden Verdichtungsabschnitt, der um eine Achse R der Maschine angeordnet ist. Die Gasturbinemaschine hat einen Brennkammerabschnitt und einen Turbinenabschnitt strömungsabwärts von dem Verdichtungsabschnitt. Diese Abschnitte sind um die Achse R angeordnet. Ein ringförmiger Strömungsweg für Arbeitsmediumgase erstreckt sich axial durch die Abschnitte der Maschine.

Die Arbeitsmediumgase werden in dem Verdichterabschnitt komprimiert und aufgeweitert. Kraftstoff wird mit den Arbeitsmediumgasen in den Verbrennungsabschnitt vermischt und verbrannt, um den Gasen Energie zuzuführen. Die heißen, unter Druck stehenden Gase lässt man durch den Turbinenabschnitt expandieren und einen Vortriebsschub entwickeln und, durch eine oder mehrere Turbinen expandieren, um den Gasen durch ein Antreiben der Turbinen um die Maschinenachse Energie zu entziehen.

Eine Rotorwelle erstreckt sich axial in der Maschine, um die Bauteile des Verdichtungsabschnitts drehbar an den Turbinen festzumachen. Jede Turbine wird von den expandierenden Arbeitsmediumgasen um die Achse R angetrieben. Die Turbine treibt die rotierenden Bauteile in dem Verdichterabschnitt um die Achse. Die rotierenden Bauteile in dem

Verdichterabschnitt verrichten an den einströmenden Gasen Arbeit, um die Gase unter Druck zu setzen.

Bei einer Turbobläsergasturbinenmaschine kann der Verdichterabschnitt 3 Verdichter in axialer Ausrichtung zum Erhöhen des Drucks der einströmenden Gase aufweisen. Die Verdichter sind üblicherweise als der Bläserverdichter, der Niederdruckverdichter und der Hochdruckverdichter bezeichnet.

Jeder Verdichter hat eine äußere Wand und eine innere Wand, welche den Arbeitsmediumsströmungsweg begrenzen. Die rotierenden Bauteile beinhalten Anordnungen von Rotorlaufschaufeln, die sich über den Arbeitsmediumsströmungsweg nach außen und in enge Nähe mit der äußeren Wand erstrecken. Alternierend zu den Anordnungen der Rotorlaufschaufeln sind Anordnungen von Verdichterleitschaufeln vorgesehen. Jede Verdichterleitschaufel hat ein Strömungsprofil, das sich zwischen der Außen- und der Innenwand radial nach innen über den Strömungsweg für Arbeitsmediumsgase erstreckt. Jedes Strömungsprofil der Leiteinrichtung justiert die Winkelgeschwindigkeitskomponente der Arbeitsmediumsgase, wenn die Gase die Rotorstufen verlassen und bevor die Gase in die benachbarte Rotorstufe oder in einen Aufweit- oder Diffusorbereich des Verdichters gelangen.

Derartige Konstruktionen sind völlig verschieden von den Turbopropkonstruktionen des Typs wie sie in dem US-Patent 2,934,150 gezeigt sind, das Fink erteilt wurde und den Titel "Pressure-Contoured Spinner" trägt. Turbopropkonstruktionen haben keine äußere Wand, die sich umfangsmäßig um den Propeller erstreckt. Und die aerodynamische Konstruktion eines Propellers ist sehr verschieden von der

aerodynamischen Konstruktion eines Strömungsprofils für einen Verdichter, das von einer Außenwand umgeben ist.

5 Fink zeigt eine konturierte innere Wand mit einer Eintiefung, um den Luftwiderstand an dem Übergang des Propellers zu dem Spinner zu verjüngen. Fink führt aus, daß dieses Konzept gleich gut auf Turbomaschinenlaufschaufeln anwendbar ist, um die örtliche Strömungsablösung zu vermindern. Es gibt jedoch signifikante aerodynamische Leistungsunterschiede zwischen einem Turboprop mit seiner Anordnung von Strömungsprofilen, die nur von einer inneren Wand begrenzt sind (unbegrenzte Kaskade) und dem, die von einer inneren Wand und einer äußeren Wand begrenzt sind (begrenzte Kaskade).

15 Bei begrenzten Kaskaden gibt es zahlreiche Beispiele im Stand der Technik, bei denen die innere Wand oder die äußere Wand aus aerodynamischen Überlegungen konturiert ist. Diese aerodynamischen Überlegungen schließen beispielsweise die aerodynamische Effizienz der Strömungsprofile, die Strömungsverluste, die das Gas beim Strömen der Gase durch die Anordnung von Strömungsprofilen erfährt, und die Abschnürströmungs-Charakteristik der Anordnung ein. Die Abschnürströmungs-Charakteristik ist das Niveau des Druckverhältnisses über eine Anordnung von Strömungsprofilen, über dem ein Anstieg beim Druckverhältnis die Strömung durch die Anordnung nicht erhöht.

20 25 Beispiele von begrenzten Kaskadenkonstruktionen sind in dem US-Patent Nr. 2,735,612, das Hausammann erteilt wurde und den Titel "Blade Passage Construction for Compressors and Diffusers" trägt, gezeigt, welches Vorsprünge in den Strömungsweg für Arbeitsmediumgase hat,

was dem Strömungsprofil benachbart zu einem Konkav-Konvex-Wandpfad führt. Das US-Patent Nr. 2,846,137, das Smith erteilt wurde und den Titel "Construction for Axial-Flow Turbo Machinery" trägt hat eine konkav-konvexe Gestalt oder eine konvex-konkave Gestalt bezogen auf den Strömungsweg an den Endwandbereichen der Strömungsprofile.

5 Das US-Patent 2,918,254, das Hausammann erteilt wurde, beschreibt einen Vorsprung, der sich an der Endwand von der Druckseite zu der Sogseite des Strömungsprofils erstreckt. Wobei sich der Vorsprung in Richtung nach hinten erstreckt. Das US-Patent Nr. 2,955,747, das Schwaar erteilt wurde und den Titel "Supersonic Axial Compressors" trägt, beschreibt benachbarte Rotorstufen, bei denen die Endwände benachbarter Stufen relativ zueinander mit einem Winkel angeordnet sind. Das US-Patent Nr. 4,371,311 das Walsh erteilt wurde und den Titel "Compression Section for an Axial Flow Rotary Machine" trägt, hat Endwände, die bezogen auf die Rotor- und Statorstufen gekrümmmt sind, um konkav-konvexe Bereiche an der Endwand bezogen auf den Strömungsweg strömungsaufwärts und strömungsabwärts von der Strömungsprofilstufe zu bilden. Das deutsche Patent mit der Nr. 579989 "Blading of Axially Loaded Steam or Gas Turbines Without Head Rings" beschreibt Endwände mit im Winkel angeordneten Strömungswegen mit entweder einem konkaven oder einem konvexen Bereich an der Vorderkante des Strömungsprofils. Das Patent aus dem Vereinigten Königreich 596,784, das den Titel "Improvements in and Relating to Elastic Fluid Turbines" trägt, beschreibt Strömungsprofile mit einer gekrümmten Endwand.

10 15 20 25

Das US-Patent Nr. 5,275,531, das Roberts erteilt wurde und den Titel "Area Ruled Fan Blade Ends for Turbofan Jet Engine" trägt, beschreibt Rotorlaufschaufeln mit konvexen Enden und ringförmig muldenartig

eingesenkten Konturen in der inneren und der äußereren Wand des Strömungswegs, die radial mit Dämpfern bei einem Teil der Erstreckung ausgerichtet sind.

- 5 Diese Konstruktionen für begrenzte Kaskaden zeigen die vielen Verwendungen von gekrümmten Oberflächen, die sich in Axialrichtung entlang der Endwand erstrecken, um die Strömungseigenschaften einer Anordnung von Strömungsprofilen zu beeinflussen. Trotz dieses Stands der Technik haben Wissenschaftler und Ingenieure der Anmelderin sich bemüht, Strömungsprofile zu entwickeln, die eine erhöhte Effizienz und verringerte aerodynamische Verluste in Strömungsprofilbereichen haben, die den Wänden benachbart sind, welche den Strömungsweg für die Arbeitsmediumsgase begrenzen.
- 10
- 15 Die Erfindung basiert zum Teil auf der Erkenntnis, daß das Vorsehen eines konkaven Bereichs in dem Bereich der Profilmitte der Endwand die Abschnürströmungs-Charakteristik der Anordnung von Strömungsprofilen erhöht. Und, was wichtiger ist, es ermöglicht die Bildung einer konvexen Fläche an der Vorderkante und einer konvexen Fläche an der Hinterkante, was eine größere Konstruktionsflexibilität beim Ausrichten der einströmenden Strömung zu der Vorderkante für erhöhte aerodynamische Effizienz und geringere Strömungsverluste in dem Hinterkantenbereich, wenn die Strömung das Strömungsprofil verläßt, erlaubt.
- 20
- 25 Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Verdichtungsabschnitt einer Rotationsmaschine bereitgestellt, aufweisend eine Strömungsleitanordnung mit einem Strömungsweg für Arbeitsmediumsgase, wobei die Anordnung eine erste Wand und eine

zweite Wand, welche den Strömungsweg begrenzen, und mindestens ein Paar von Strömungsprofilen aufweist, von denen jedes eine Sogfläche und eine Druckfläche aufweist und von denen sich jedes über den Strömungsweg erstreckt, und wobei dazwischen eine sich nach hinten erstreckende Passage für Arbeitsmediumsgase gelassen ist, die lateral in einer Richtung rechtwinklig zu der sich nach hinten erstreckenden Richtung von den Strömungsprofilen begrenzt ist und in Erstreckungsrichtung von den Wänden begrenzt ist, wobei die Anordnung aufweist:

- 10 die erste Wand mit einem ersten Bereich, der sich von der Vorderkante nach hinten erstreckt, wobei die Wand in dem ersten Bereich in Richtung zu dem Strömungsweg konvex ist, wobei sich der erste Bereich lateral von der Sogfläche des ersten Strömungsprofils zu der Druckfläche des zweiten Strömungsprofils erstreckt;
- 15 einen zweiten Bereich, der sich von der Hinterkante nach vorne erstreckt, wobei die Wand in dem zweiten Bereich in Richtung zu dem Strömungsweg konvex ist, wobei sich der zweite Bereich lateral von der Sogfläche des ersten Strömungsprofils in Richtung zu der Druckfläche des zweiten Strömungsprofils erstreckt;
- 20 einen dritten Bereich, der sich zwischen dem ersten Bereich und dem zweiten Bereich erstreckt, wobei der dritte Bereich in Richtung zu dem Strömungsweg in Richtung nach vorne und nach hinten konkav ist und sich lateral von der Sogfläche des ersten Strömungsprofils zu der Druckfläche des zweiten Strömungsprofils erstreckt, dadurch gekennzeichnet, daß die Wand in dem ersten Bereich in Richtung zu dem Strömungsweg in die Richtung nach hinten von der Vorderkante konvex ist, so daß sich die Wand in Richtung nach hinten ausbaucht, und daß die Wand in dem zweiten Bereich in Richtung zu dem Strömungsweg in

Richtung nach vorne von der Hinterkante derart konvex ist, daß sich die Wand in Richtung nach vorne ausbaucht.

- Damit ist die konturierte Wand ein Merkmal der vorliegenden Erfindung.
5 Die konturierte Wand begrenzt eine Passage durch ein Paar von Strömungsprofilen. Die konturierte Wand hat einen konkaven Bereich in die Richtung nach hinten bezogen auf den Strömungsweg zwischen der Vorderkante und der Hinterkante. Ein weiteres Merkmal der konturierten Wand ist der konvexe Bereich zwischen dem konkaven Bereich und der Hinterkante. Ein weiteres Merkmal der konturierten Wand ist ein konvexer Bereich zwischen dem konkaven Bereich und der Vorderkante. Eine Ausführungsform ist das Maximalmaß des konkaven Bereichs mit dem lateral dicksten Bereich des Strömungsprofils ausgerichtet.
- 10
15 Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung haben der erste konvexe Bereich, der zweite konvexe Bereich bzw. der konkav Bereich ihr maximales Maß (ein Punkt mit Null Steigung) in enger axialer Nähe zu der Vorderkante, der Hinterkante und dem dicksten Bereich des Strömungsprofils gemessen bezogen auf die Schnittlinie einer Radialebene, welche die Achse der Maschine beinhaltet und einer konischen Fläche, welche durch die Vorderkante und die Hinterkante an der Wand geht.
- 20
25 Ein Hauptvorteil der vorliegenden Erfindung zumindest in ihrer bevorzugten Ausführungsformen ist das Niveau der Maschineneffizienz, das sich aus der Verwendung einer Anordnung von Strömungsprofilen ergibt, die für eine vorgegebene Abschnürströmungs-Charakteristik einen Vorderkantenbereich hat, der effektiver zu der einströmenden Strömung ausgerichtet ist, und einen Hinterkantenbereich, der weniger viskose

Strömungsverluste verglichen mit den gleichen Strömungsprofilen, die von einer konischen Wand begrenzt sind, aufweist. Ein weiterer Vorteil gemäß einer Ausführungsform ist die Maschineneffizienz, die sich aus einer monolithischen Aufweichcharakteristik an der Sogseitenfläche ergibt, die eine Funktion der axialen Positionierung des konkaven Bereichs zwischen den konvexen Bereichen ist.

Einige bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden nun nur beispielhaft und mit Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, für die gilt:

Fig. 1 ist eine vereinfachte Seitenansicht einer Turbobläsergasturbinemaschine, wobei das äußere Gehäuse weggebrochen ist, um einen Teil der Rotor- und Statoranordnungen in zwei der Verdichterabschnitten der Maschine zu zeigen.

Fig. 2 ist eine abgewickelte Ansicht einer strömungsaufwärtigen Stelle eines Teils einer Strömungsleitanordnung einer Gasturbinemaschine, welche einen verdeckten Teil der Rotor-Statoranordnung von Fig. 1 zeigt.

Fig. 3 ist eine Seitenansicht eines Verdichters, die entlang der Linie 3-3 von Fig. 2 genommen ist.

Fig. 4 ist eine Schnittansicht von zwei benachbarten Strömungsprofilabschnitten, die entlang der Linie 4-4 von Fig. 3 genommen ist.

Fig. 5 ist eine vergrößerte Ansicht der Schnittansicht von Fig. 4.

Fig. 6 ist eine Vergrößerung eines Teils der Seitenansicht von Fig. 3.

5 Fig. 7 ist eine Seitenansicht einer Bläserrotorlaufschaufel des Bläserverdichters.

Fig. 8 ist eine Vergrößerung eines Teils der in Fig. 7 gezeigten Seitenansicht.

10 Fig. 9 ist eine grafische Darstellung der lokalen Geschwindigkeit an der Sogfläche und der Druckfläche.

15 Eine Ausführungsform einer Turboläser-Gasturbinenmaschine 10 der vorliegenden Erfindung ist in der Fig. 1 gezeigt. Die Hauptabschnitte der Maschine sind ein Verdichtungsabschnitt 12, ein Verbrennungsabschnitt 14 und ein Turbinenabschnitt 16. Der Verdichtungsabschnitt weist einen Bläserverdichter 18, einen Niederdruckverdichter 20 und einen Hochdruckverdichter 22 auf. Die Maschine hat eine Achse R.

20 Rotoranordnungen, wie sie durch die Rotoranordnung 24, 24a repräsentiert sind, mit Rotorlaufschaufeln 25, 25a erstrecken sich axial durch den Verdichtungsabschnitt 12 und den Turbinenabschnitt 16. Eine Statoranordnung 26 umschreibt die Rotoranordnungen. Ringförmige Strömungswege 28, 28a für Arbeitsmediumgase erstrecken sich axial durch die Verdichterabschnitte und sind von Teilen der Statoranordnung und der Rotoranordnung begrenzt. Diese Bauteile bilden eine innere Wand 32, 32a und eine äußere Wand 34, 34a für die ringförmigen Strömungswege.

- 10 -

Fig. 2 zeigt einen Teil der Statoranordnung von Fig. 1 und zeigt insbesondere einen Teil der Verdichterstatorleitschaufeln 36, die ein Teil der Strömungsleitanordnung der Gasturbinemaschine sind. Die unterbrochene Linie zeigt die Ausführungsform in einer unbearbeiteten (sich umfangsmäßig erstreckenden) Ansicht. Die durchgezogenen Linien zeigen die Ausführungsform in einer überarbeiteten Ansicht.

Die Verdichter-Statorleitanordnung 36 beinhaltet die innere Wand 32, die äußere Wand 34 und eine Anordnung von Strömungsprofilen, wie durch die Strömungsprofile 38 dargestellt, die sich zwischen der inneren Wand und der äußeren Wand erstrecken. Jedes Strömungsprofil hat ein inneres Ende 40 und ein äußeres Ende 41. Der Strömungsweg für Arbeitsmediumgase erstreckt sich zwischen den benachbarten Strömungsprofilen. Jedes Strömungsprofil hat eine konvexe Fläche oder Seite, wie die Sogseitenfläche 42, und eine konkave Fläche oder Seite, wie die Druckseitenfläche 44.

Wie in der Fig. 3 gezeigt, hat die innere Wand 32 eine spezielle Konturierung, welche die Abschnürströmungs Charakteristik der Anordnung erhöht. Die Sogfläche 42 und die Druckfläche 44 eines jeden Strömungsprofils sind an einer Vorderkante 46 und an einer Hinterkante 48 aneinander angeschlossen. Die konturierte Wand erstreckt sich zwischen den Kanten. Eine imaginäre zylinderförmige oder konische Fläche P, die sich um die Achse R in der Maschine erstreckt (planar in der Fig. 2, weil diese eine abgewickelte Ansicht ist), erstreckt sich durch die Schnittstelle der Vorderkante mit der inneren Wand an einem imaginären Punkt A. Punkt A hat einen Radius r um die Achse R der Maschine. Ähnlich liegt ein imaginärer Punkt B an der Sogseite, an der umfangsmäßig dicksten Stelle des Strömungsprofils. Ein imaginärer

Punkt C liegt an der Hinterkante an dem Schnittpunkt der Hinterkante mit der Wand. Die drei Punkte definieren die Ebene P der konischen Fläche an 4-4, die in der Fig. 2 eben ist. Die Ebene P geht durch jedes Strömungsprofil und bildet einen konischen Strömungsprofilabschnitt. Das Strömungsprofil ist von einer Familie dieser Strömungsprofilschnitte definiert. Die Ebene P bildet eine Bezugsebene bezogen auf die konturierte Wand. Die Konturierung der Wand ändert sich in Richtung nach hinten, aber die Konturierung ändert sich nicht umfangsmäßig.

Die Fig. 4 ist eine abgewickelte Schnittansicht von zwei benachbarten Strömungsprofilschnitten, die entlang der Linie 4-4 von Fig. 3 genommen ist. Eine Passage 50 erstreckt sich in Richtung nach hinten zwischen den umfangsmäßig beabstandeten Strömungsprofilen 38 und der inneren Wand 32 und der äußeren Wand. Die axiale (in Richtung nach hinten) Strecke der Passage erstreckt sich umfangsmäßig (lateral) von der Sogfläche 42 eines Strömungsprofils zu der Druckfläche 44 des benachbarten Strömungsprofils.

Fig. 5 ist eine vergrößerte Ansicht der in Fig. 4 genommenen Schnittansicht. Eine konische Profilsehnenlinie B_t ist eine gerade Linie, die den Punkt A an der Vorderkante mit dem Punkt C an der Hinterkante verbindet. Die konische Profilsehnenlinie B_t hat eine Länge b_t . Eine mittlere Wölbungslinie MCL (MCL - mean camber line) verbindet den Punkt A an der Vorderkante und den Punkt C an der Hinterkante. Die Sogfläche 42 und die Druckfläche 44 sind eine vorbestimmte Strecke von der mittleren Wölbungsmittellinie entlang der Linien Z_{\perp} , gemessen rechtwinklig zu der mittleren Wölbungslinie, beabstandet. Der Schwerpunkt CG (CG - center of gravity) des Strömungsprofilsabschnitts ist der Positionsbezugspunkt für das Strömungsprofil in der

- Rotationsmaschine. Eine sich in Erstreckungsrichtung erstreckende Achse 52 oder Stapellinie in dem Strömungsprofil 38 erstreckt sich in Erstreckungsrichtung durch den Schwerpunkt eines jeden Strömungsprofilschnitts und positioniert die Strömungsprofilschnitte relativ zueinander in Erstreckungsrichtung und in Profilsehnenrichtung in der Umfangs- und Axialrichtung. Bei der gezeigten Ausführungsform befindet sich die umfangsmäßig dickste Stelle des Strömungsprofils an der Stapellinie. Bei anderen Ausführungsformen kann diese strömungsaufwärts oder strömungsabwärts der Stapellinie sein.
- 10 Eine vordere Tangente TL (TL - tangent line), die tangential zu einem von einer durch die Achse R der Maschine und durch den Punkt A gehenden Radiallinie gebildeten Kreis ist, schafft eine Bezugsachse (y-Achse) zum Messen der Winkel und Strecken. Eine Ebene, die durch die Rotationsachse R geht und diese beinhaltet, schneidet die Ebene P an einer zweiten Bezugslinie, der x-Achse. τ ist eine Strecke zwischen den Strömungsprofilschnitten, die entlang der vorderen Tangente TL gemessen ist. Ein Alpha-Profilsehnenwinkel α_{ch} , ist der Winkel zwischen der Tangente TL und der konischen Profilsehnenlinie B_t.
- 15 20 Das Arbeitsmediumsgas, das entlang des Arbeitsmediumsströmungswegs 28 strömt, erreicht den Strömungsprofilabschnitt mit einem Winkel β_1 zu der Tangente TL. Die gewölbte Mittellinie MCL hat eine Tangente T_{MCF} an der Vorderkante (der vorderen Kante). Der Winkel zwischen der Tangente T_{MCF} und der Tangente TL ist der Einlaß-Metall-Winkel β^* . Die Differenz zwischen dem Einlaß-Metall-Winkel β^* und dem Winkel der Arbeitsmediumgase β_1 ist der Auf treffwinkel i der Arbeitsmediumgase. Wie in der Fig. 5 gezeigt ist der Auf treffwinkel i negativ.

Das Arbeitsmediumgas verläßt das Strömungsprofil mit einem Winkel
5 β_2 zu der hinteren Tangente (TLR - rear tangent line). Die gewölbte
Mittellinie MCL hat eine Tangente T_{MCR} an der Hinterkante (hintere
Kante). Ein Gesamtwölbungswinkel Θ^* , ist der Winkel zwischen der
Tangente T_{MCF} an der Vorderkante und der Tangente T_{MCR} an der
Hinterkante. Der Gesamtwölbungsmittel Θ^* , ist das Maß für die
Krümmung der gewölbten Mittellinie und des Strömungsprofilabschnitts.

Fig. 6 ist eine vergrößerte Ansicht eines Teils der Seitenansicht von Fig.
10 3 und zeigt die Sogfläche 42 und die Druckfläche 44. Wie in der Fig. 4
gezeigt, divergieren die Sogfläche 42 und die Druckfläche 44 nach hinten
in der strömungsabwärtigen Richtung bis zu dem Punkt der maximalen
Dicke P an der Stappellinie und konvergieren in Richtung zu der
15 Hinterkante, was die Dicke der Hinterkante verringert. Die Wand, wie
sie durch die innere Wand 32 repräsentiert ist, erstreckt sich axial und
umfangsmäßig zwischen den Strömungsprofilabschnitten und zwischen
der Vorderkante 46 und der Hinterkante 48 und darüberhinaus. Die
Wand hat einen ersten Bereich 54, der sich umfangsmäßig (lateral) von
20 der Vorderkante zu der Vorderkante und strömungsabwärts (nach hinten)
eine Strecke erstreckt, die kleiner ist oder gleich ein Viertel der axialen
Länge L_a an der Vorderkante zu der Hinterkante. Die Wand ist in
Richtung zu dem Strömungsweg des ersten Abschnitts konvex. So wie er
hier verwendet wird, bedeutet der Begriff konvex, daß sich die Wand in
25 Richtung zu dem Strömungsweg ausbaucht und eine Tangente zu jedem
Punkt, der zu der Kurve gehört, auf der Kurve oder auf der
Strömungswegseite der Kurve liegt. Die innere Wand ist in dem ersten
Abschnitt tangential zu der inneren Wand unmittelbar strömungsaufwärts
von der Vorderkante oder sie ist tangential zu einer kleinen Verlängerung
der inneren Wand, die sich in einer geraden Linie über die Vorderkante

in Richtung strömungsabwärts fortsetzt. Die Krümmungsradien sind für die konturierten Bereiche der Wand angegeben. Man wird erkennen, daß ein Wendepunkt die Grenze zwischen konvexen und konkaven Bereichen markiert.

5

Bei anderen Konstruktionen kann die innere Wand 32 sich unmittelbar strömungsaufwärts von der Vorderkante 46 in einer konvexen Weise ein wenig nach außen zu der inneren Wand zwischen Strömungsprofil an der Vorderkante erstrecken. In jedem Fall hat der erste konvexe Bereich seine maximale Erstreckung in Richtung zu dem Strömungsweg (d.h. ein Punkt mit Null Steigung) an der Vorderkante, gemessen bezogen auf die Schnittlinie der Radialebene, welche die Maschinenachse enthält, der konischen Fläche P, welche durch die Vorderkante und die Hinterkante an der Wand geht. Deshalb wird sich die innere Wand strömungsaufwärts der Vorderkante nicht durch diese konische Ebene P mindestens für die Hälfte der Strecke zwischen dieser Anordnung von Strömungsprofilen und der strömungsabwärtigen Anordnung von Strömungsprofilen erstrecken.

10

15

20

Die innere Wand 32 hat einen zweiten Bereich 56, der sich in der gezeigten Ausführungsform von der Hintekante 48 zu der Hinterkante 48 erstreckt und sich strömungsaufwärts über eine Strecke erstreckt, die kleiner oder gleich ein Viertel der axialen Länge L_a ist. Die Wand ist in Richtung zu dem Strömungsweg in dem zweiten Bereich konvex, sowie es die Wand in dem ersten Bereich ist. Der zweite konvexe Bereich hat seine maximale Erstreckung an der Hinterkante (d.h. Punkt mit Null Steigung) und ist, wie der erste Bereich, tangential zu der Verlängerungslinie an die innere Wand von einem Punkt unmittelbar strömungsabwärts von der Hinterkante oder einer geringen Verlängerung

25

der inneren Wand über die Hinterkante in die Anordnung von Strömungsprofilen. In keinem dieser Fälle geht die innere Wand durch die konische Fläche P über mindestens die Hälfte der Strecke zwischen dieser Anordnung von Strömungsprofilen und der benachbarten 5 Anordnung von Strömungsprofilen in der strömungsabwärtigen Richtung.

Bei anderen Ausführungsformen kann die Hinterkanten-Konvexfläche sich nur zum Teil von Strömungsprofil zu Strömungsprofil erstrecken, was zu einer Konturierung in der Umfangsrichtung führt. Diese 10 Ausführungsformen sind schwieriger herzustellen. Man geht davon aus, daß praktisch alle Verwendungen dieses Konzepts einen konvexen Bereich verwenden werden, der sich umfangsmäßig ohne Konturierung von der Sogfläche 42 eines Strömungsprofils zu der Druckfläche 44 des benachbarten Strömungsprofils erstreckt.

15 Die innere Wand hat einen dritten Bereich 58, der sich von dem ersten Bereich 54 zu dem zweiten Bereich 56 und umfangsmäßig von Strömungsprofil zu Strömungsprofil erstreckt. Die Wand in dem dritten Bereich ist konkav in Richtung zu dem Strömungsweg, d.h. weg von dem Strömungsweg ausgebaucht und jeder beliebige Punkt, der auf der Kurve des zweiten Bereichs liegt, hat eine Tangente, die immer auf der Kurve (solange diese flach ist) oder auf der von dem Strömungsweg entfernt liegenden Seite der Kurve liegen wird. Der zweite Bereich wird seine maximale Erstreckung beim Punkt B haben, bei dem es sich um 20 den umfangsmäßig dicksten Bereich des Strömungsprofils handelt. Die maximale Erstreckung des zweiten Bereichs wird bezogen auf die konische Fläche P gemessen, die durch die Vorderkante und die Hinterkante an der Wand geht. Bei dem Punkt der maximalen Erstreckung wird die Konturierung einen Punkt mit Null Steigung 25

23.03.100

- 16 -

besitzen, gemessen bezogen auf den Schnittpunkt der Radialebene,
welche die Achse R der Maschine, enthält und der konischen Fläche P.

Bei anderen Konstruktionen mag der Ort der maximalen Erstreckung der
5 Oberfläche ein wenig vor oder ein wenig hinter der maximalen Dicke des
Strömungsprofils liegen. Dieser axiale Ort kann angepaßt werden, um zu
bewirken, daß die Geschwindigkeitsverteilung über die Profilsehnenlänge
an der Sogfläche monoton ist, sobald die Strömung durch ihre maximale
10 Amplitude geht. Das wird detaillierter mit Bezugnahme auf die
Konstruktion des Strömungsprofils beschrieben werden, wie sie in Fig. 7
und 8 gezeigt ist.

Fig. 7 ist eine Seitenansicht einer weiteren Ausführungsform einer
15 Strömungsleitfläche, wie sie von dem Bläserotor-Strömungsprofil
(Laufschaufel) 38a des Bläserverdichters 18 repräsentiert wird. Bei der
speziellen gezeigten Ausführungsform ist die innere Wand 32a von der
Plattform der Rotorlaufschaufel gebildet. Die äußere Wand 34a ist von
dem sich umfangsmäßig erstreckenden äußeren Bläsergehäuse gebildet
und radial von der Rotorlaufschaufel beabstandet.

20 Fig. 8 ist eine vergrößerte Seitenansicht der Innenwand 32a der
Bläserotor-Laufschaufel. Wie bei der inneren Wand der in Fig. 6
gezeigten Statorleitschaufel besitzt die innere Wand einen ersten Bereich
25 54a, der sich umfangsmäßig von der Vorderkante zu der Vorderkante
von benachbarten Laufschaufeln erstreckt. Der erste Bereich erstreckt
sich über eine Strecke strömungsabwärts, die kleiner als oder gleich ein
Viertel der axialen Länge L_a von der Vorderkante zu der Hinterkante ist.
Die Wand ist in der Axialrichtung konvex in Richtung zu dem
Strömungsweg in dem ersten Bereich. Die Wand hat einen zweiten

Bereich 56a, der sich von der Hinterkante zu der Hinterkante und strömungsaufwärts über eine Strecke erstreckt, die kleiner als oder gleich ein Viertel der axialen Länge L_a ist. Die Wand ist in der Axialrichtung in Richtung zu dem Strömungsweg in dem zweiten Bereich konvex.

5

Die Wand 32 besitzt einen dritten Bereich 58a. Der dritte Bereich erstreckt sich von dem ersten Bereich zu dem zweiten Bereich axial und umfangsmäßig von Strömungsprofil zu Strömungsprofil. Die Wand in dem dritten Bereich ist in Axialrichtung in Richtung zu dem Strömungsweg konkav. Der erste konvexe Bereich, der zweite konvexe Bereich bzw. der dritte konkave Bereich haben ihre maximale Erstreckung (einen Punkt mit Null Steigung) in enger Nähe zu der Vorderkante, der Hinterkante und dem dicksten Bereich des Strömungsprofils gemessen bezogen auf die Schnittlinie einer Radialebene, welche die Achse der Maschine enthält, und der konischen Oberfläche P' , welche durch die Vorderkante 46a und die Hinterkante 48a an der Wand geht. Der Punkt maximaler Erstreckung ist auch an der Vorderkante und der Hinterkante, wobei beide die Tangente eines kleinen Flachbereichs an die konvexe Fläche oder den gekrümmten Bereich der konvexen Fläche an der Vorderkante bzw. der Hinterkante sind.

25

Wie durch die unterbrochenen Linien in der Fig. 8 gezeigt, gibt es eine kleine Verkleidung 47a, 49a zwischen der Vorderkante und der Plattform bzw. der Hinterkante und der Plattform. Die Verkleidung wird bei der analytischen Konstruktion der Strömungsprofilabschnitte nicht berücksichtigt. Die Vorderkante 46a und die Hinterkante 48a erstrecken sich, wie mit einer geraden Linie gezeigt, und schneiden die konische Fläche P' die tangential zu der inneren Wand ist; an der Vorderkante

und der Hinterkante bei den Punkten A' und C'. Man wird erkennen,
daß andere Konstruktionen eine innere Wand strömungsaufwärts von der
Vorderkante oder eine innere Wand strömungsabwärts von der
Hinterkante haben, welche die konvexe Kurve über den Punkt der
maximalen Erstreckung hinaus fortsetzen. Man glaubt, daß sich derartige
Konstruktionen ähnlich zu den Konstruktionen verhalten, bei denen die
innere Wand strömungsaufwärts von der Vorderkante und die äußere
Kante der sich strömungsabwärts erstreckenden Hinterkante unkonturierte
Oberflächen in die sich axial erstreckende Richtung sind. Auf keinen Fall
wird sich die innere Wand strömungsaufwärts von der Vorderkante und
strömungsabwärts von der Vorderkante durch die konische Bezugsebene
P' erstrecken.

Fig. 9 ist eine grafische Darstellung der örtlichen Geschwindigkeit an der
Sogseitenfläche und der Druckseitenfläche des in Fig. 7 gezeigten
Strömungsprofils an einem der inneren Wand benachbarten Ort und als
eine Funktion der konischen Profilsehnennlänge b_t bei einer
Betriebsbedingung, bei der die Maschine einen beträchtlichen Teil ihrer
Betriebsbedingungen verbringt, beispielweise im maximalen
Reisezustand. Bei Betriebsbedingungen (wie in durchgezogener Linie
gezeigt), nimmt die Geschwindigkeit an der Sogfläche schnell auf einen
Spitzenwert zu und nimmt zu dem Hinterkantenbereich ab. Wie gezeigt,
ist die Kurve monoton, d.h. die Steigung der Kurve ist ab dem Punkt des
Maximalwerts der Geschwindigkeit immer negativ. Das Strömungsprofil
hat eine monotone Sogflächencharakteristik. Ein derartiges
Strömungsprofil zeigt eine bessere aerodynamische Leistung, (weil
weniger Verluste hat die mit der Aufweitung der Strömung verbunden
sind) als es Strömungsprofile mit einer Geschwindigkeitsverteilung an
der Sogfläche haben, die nicht monoton ist.

Ein Beispiel einer Geschwindigkeitsverteilung, die nicht monoton ist, ist durch die unterbrochenen Linien gezeigt. Diese Geschwindigkeitsverteilung steigt schnell auf einen Maximalwert an. Die Geschwindigkeit nimmt dann in Richtung nach hinten schnell ab und nimmt dann wieder zu, und ändert die Steigung der Geschwindigkeitskurve von Negativ auf Positiv in Richtung zu der Hinterkante des Strömungsprofils. Eine derartige Kurve ist ein Beispiel einer Konstruktion mit großen aerodynamischen Verlusten beim Hindurchtreten der Strömung durch die Anordnung von Strömungsprofilen. Die Gestalt der Kurve und die monotone Natur der Kurve können durch das Bewegen des konkaven Bereichs der Wand entweder nach vorne oder nach hinten, abhängig von dem speziellen unter Betrachtung stehenden Strömungsprofil, beeinflußt werden. Die Werkzeuge zum Analysieren der Geschwindigkeitsverteilungen wie dieser, sind auf dem Gebiet der Verdichterkonstruktion bekannt. Man wird erkennen, egal ob das Strömungsprofil eine monotone Sogflächencharakteristik hat, daß die Verwendung der konvexen Flächen des ersten Bereichs und des zweiten Bereichs wird die aerodynamische Leistung der Anordnung verglichen mit Konstruktionen, welche die gleichen Eigenschaften haben, aber die konvexen Flächen nicht besitzen verbessert.

Beim Betrieb der Gasturbinenmaschine 10, die in Fig. 1 gezeigt ist, strömen Arbeitsmediumsgase entlang von Arbeitsmediumströmungswegen 28, 28a. Wenn die Gase in den Verdichtungsabschnitt gelangen, schaffen die konkaven dritten Bereiche 58, 58a des Strömungsprofils eine zusätzliche Querschnittsfläche für die Strömung. Die zusätzliche Strömungsquerschnittsfläche gleicht die Abnahme in der Strömungsquerschnittsfläche aus, die durch die

23.03.00

- 20 -

zunehmende Dicke des Strömungsprofils in die Richtung nach hinten verursacht wird. Das stellt eine geeignete Abschnürströmungs-Charakteristik für das Strömungsprofil sicher.

Was noch wichtiger ist, der konkave Bereich ermöglicht die Ausbildung eines konvexen Bereichs an der Hinterkante und eines konvexen Bereichs an der Vorderkante. An der Vorderkante erhöht der konvexe Bereich die axiale Geschwindigkeit der Strömung zwischen den Strömungsprofilen in der Passage 50, verringert den statischen Druck und zieht mehr Strömung in den Vorderkantenbereich. Das hat zur Folge, daß die Strömung sich in engere Ausrichtung mit den Strömungsprofilen bewegt, den Auf treffwinkel der Strömung auf die Laufschaufel verringert und die aerodynamischen Verluste an dem Strömungsprofil verringert. Es verringert auch die Geschwindigkeitsspitze an der Sogseite und erhöht zusätzlich die aerodynamische Effizienz. Die zusätzliche Strömung hilft auch einen Strömungsabriß bei einem Startzustand bzw. beim Zustand maximalen Steigens zu vermeiden.

Außerdem kann bei einem vorgegebenen Minimalniveau von Abschnürströmungs-Charakteristik (wie durch die mit unterbrochener Linie gezeigte Vorderkante und die mit durchgezogener Linie gezeigte Vorderkante in Fig. 5 gezeigt und mit diesem verbunden) der Einlaß-Metall-Winkel zwischen den unterbrochenen und durchzogenen Außenlinien des Strömungsprofils variieren. Man wird erkennen, daß das ein Zumachen der Anordnung von Strömungsprofilen (oder ein Öffnen von diesen mit einer größeren Absperrströmungs-Charakteristik) erlaubt, falls nötig, um die Vorderkante mit der ankommenden Strömung auszurichten, ohne einen Verlust an auf der Strömungs-Charakteristik unter das, was für die Überspeedeignung der Maschine akzeptabel ist.

Der wichtigste Vorteil tritt an dem Hinterkantenbereich auf, wo es eine umfangsmäßige Strömung in dem Endwandbereich gibt. Die umfangsmäßige Strömung wird häufig als Passagenwirbel bezeichnet und erstreckt sich von der Druckfläche bei höherem Druck zu der Sogfläche bei geringerem Druck. Die Auswirkung des Passagewirbels bei Rotorlaufschaufeln ist durch die radiale Pumpkraft, die von den Bläserlaufschaufeln auf die viskose Strömung ausgeübt wird, verstärkt. Signifikante aerodynamische Verluste sind mit dem Passagewirbel verbunden.

10

Wie angemerkt, erlaubt der konkave Bereich die Ausbildung des konvexen Bereichs an der Hinterkante der Laufschaufel. Die Bildung des konvexen Bereichs erhöht die Geschwindigkeit der Strömung in der Passage 50 an der Endwand, verringert den statischen Druck und zieht zusätzliche Strömung in den Hinterkantenbereich. Das ist wichtig, weil die zusätzliche Strömung in die Grenzschicht der Passage den Passagewirbel unterbricht und die mit dem Wirbel verbundenen aerodynamischen Verluste verringert.

20

Zusammengefaßt wird die aerodynamische Effizienz einer Rotorlaufschaufel oder einer Statorleitschaufel durch die bessere Ausrichtung der Strömung mit der Vorderkante und durch die Fähigkeit des Konstrukteurs, den Winkel der Vorderkante bezogen auf die Strömung durch die verbesserte Abschnürströmungs-Charakteristik der Anordnung von Strömungsprofilen anzupassen verbessert. Außerdem kommt es zu einer Verringerung der aerodynamischen Verluste an der Hinterkante.

23.03.00

- 22 -

Obwohl die Erfindung mit Bezug auf detaillierte Ausführungsformen davon gezeigt und beschrieben wurde, sollte der Fachmann erkennen, daß zahlreiche Änderungen in deren Form und Detail vorgenommen werden können, ohne von dem Umfang der beanspruchten Erfindung abzuweichen.

5

23.03.00

- 23 -

EP 0 775 249

5

ANSPRÜCHE

1. Verdichtungsabschnitt (12) einer Rotationsmaschine (10) aufweisend
10 eine Strömungsleitanordnung mit einem Strömungsweg (28) für
Arbeitsmediumsgase, wobei die Anordnung eine erste Wand (32;
32a) und eine zweite Wand (34; 34a), welche den Strömungsweg
begrenzen, und mindestens ein Paar von Strömungsprofilen (38;
38a) aufweist, von denen jedes eine Sogfläche (42; 42a) und eine
Druckfläche (44; 44a) aufweist und von denen sich jedes über den
15 Strömungsweg erstreckt, und wobei dazwischen eine sich nach
hinten erstreckende Passage (50) für Arbeitsmediumsgase gelassen
ist, die lateral in einer Richtung rechtwinklig zu der sich nach hinten
erstreckenden Richtung von den Strömungsprofilen (38; 38a)
begrenzt ist und in Erstreckungsrichtung von den Wänden begrenzt
20 ist, wobei die Anordnung aufweist:
die erste Wand (32; 32a) mit einem ersten Bereich (54; 54a), der
sich von der Vorderkante (46; 46a) nach hinten erstreckt, wobei die
Wand in dem ersten Bereich in Richtung zu dem Strömungsweg
konvex ist, wobei sich der erste Bereich lateral von der Sogfläche
25 (42; 42a) des ersten Strömungsprofils zu der Druckfläche (44; 44a)
des zweiten Strömungsprofils erstreckt;
einen zweiten Bereich (56; 56a), der sich von der Hinterkante (48;
48a) nach vorne erstreckt, wobei die Wand in dem zweiten Bereich
in Richtung zu dem Strömungsweg konvex ist, wobei sich der

23.03.00

- 24 -

zweite Bereich lateral von der Sogfläche (42; 42a) des ersten Strömungsprofils in Richtung zu der Druckfläche (44; 44a) des zweiten Strömungsprofils erstreckt;

5 einen dritten Bereich (58; 58a), der sich zwischen dem ersten Bereich (54; 54a) und dem zweiten Bereich (56; 56a) erstreckt, wobei der dritte Bereich in Richtung zu dem Strömungsweg in Richtung nach vorne und nach hinten konkav ist und sich lateral von der Sogfläche (42; 42a) des ersten Strömungsprofils zu der Druckfläche (44; 44a) des zweiten Strömungsprofils erstreckt,

10 dadurch gekennzeichnet,
daß die Wand in dem ersten Bereich in Richtung zu dem Strömungsweg in die Richtung nach hinten von der Vorderkante konvex ist, so daß sich die Wand in Richtung nach hinten ausbaucht, und daß die Wand in dem zweiten Bereich in Richtung zu dem Strömungsweg in Richtung nach vorne von der Hinterkante derart 15 konvex ist, daß sich die Wand in Richtung nach vorne ausbaucht.

2. Verdichtungsabschnitt einer Rotationsmaschine nach Anspruch 1, wobei sich der zweite Bereich (56; 56a) von der Sogfläche (42; 42a) des ersten Strömungsprofils zu der Druckfläche (44; 44a) des zweiten Strömungsprofils lateral erstreckt.
3. Verdichtungsabschnitt einer Rotationsmaschine nach Anspruch 1, wobei sich die Passage (50) über eine Länge L_a von der Vorderkante (46; 46a) zu der Hinterkante (48; 48a) nach hinten erstreckt und 25 wobei sich der erste konvexe Bereich (54; 54a) von der Vorderkante über eine Länge erstreckt, die kleiner oder gleich ein Viertel der Länge L_a ist.

23.03.00

- 25 -

4. Verdichtungsabschnitt einer Rotationsmaschine nach Anspruch 2, wobei sich die Passage (50) eine Länge L_a von der Vorderkante (46; 46a) zu der Hinterkante (48; 48a) nach hinten erstreckt und wobei sich der erste konvexe Bereich (54; 54a) von der Vorderkante über eine Länge erstreckt, die kleiner oder gleich ein Viertel der Länge L_a ist.
5. Verdichtungsabschnitt einer Rotationsmaschine nach Anspruch 4, wobei das Strömungsprofil (38; 38a) eine maximale umfangsmäßige Dicke an einer ersten Axialstelle (B) besitzt und wobei die maximale Erstreckung weg von dem Strömungsweg (28) der konkaven Oberfläche (58; 58a) der ersten Axialstelle gemessen bezogen auf eine sich umfangsmäßig erstreckende konische Bezugsebene P, welche durch den Schnittpunkt der Vorderkante (46; 46a) und der Hinterkante (48; 48a) und der Außenwand des Strömungsprofils (38; 38a) geht, benachbart ist.
6. Verdichtungsabschnitt einer Rotationsmaschine nach Anspruch 5, wobei die maximale Erstreckung der konvexen Fläche in den zweiten Bereich (56; 56a) in Richtung zu dem Strömungsweg (28) bei der Hinterkante (48; 48a) gemessen bezogen auf die Bezugsebene P ist.
7. Verdichtungsabschnitt einer Rotationsmaschine nach Anspruch 6, wobei die maximale Erstreckung der konvexen Fläche in den ersten Bereich (54; 54a) in Richtung zu dem Strömungsweg (28) an der Vorderkante (46; 46a) gemessen bezogen auf die Bezugsebene P ist.

23.03.00

- 26 -

8. Verdichtungsabschnitt einer Rotationsmaschine nach Anspruch 6, wobei die Anordnung eine Statoranordnung ist und wobei jedes Strömungsprofil (38) an der ersten Wand (32) und der zweiten Wand (34) befestigt ist.
5
9. Verdichtungsabschnitt einer Rotationsmaschine nach Anspruch 6, wobei die Anordnung eine Rotoranordnung ist und wobei das Strömungsprofil (38a) an der ersten Wand (32a) befestigt ist und radial von der zweiten Wand (34a) beabstandet ist und wobei die erste Wand (32a) die Bereiche (54a, 56a, 58a) aufweist.
10
10. Verdichtungsabschnitt einer Rotationsmaschine nach Anspruch 4, wobei der zweite konvexe Bereich (56; 56a) sich von der Hinterkante (48; 48a) über eine Länge erstreckt, die kleiner oder gleich ein Viertel der axialen Länge L_a ist und wobei der erste konvexe Bereich (54; 54a), der zweite konvexe Bereich (56; 56a) bzw. der konkave Bereich (58; 58a) ihre maximale Erstreckung (einen Punkt mit Null Steigung) an der Vorderkante (46; 46a), der Hinterkante (48; 48a) und dem dicksten Bereich des Strömungsprofils (8) haben gemessen bezogen auf die Schnittlinie einer radialen Ebene und einer konischen Fläche (P; P'), die durch die Vorderkante (46; 46a) und die Hinterkante (48; 48a) an der Wand (32; 32a) geht.
15
20

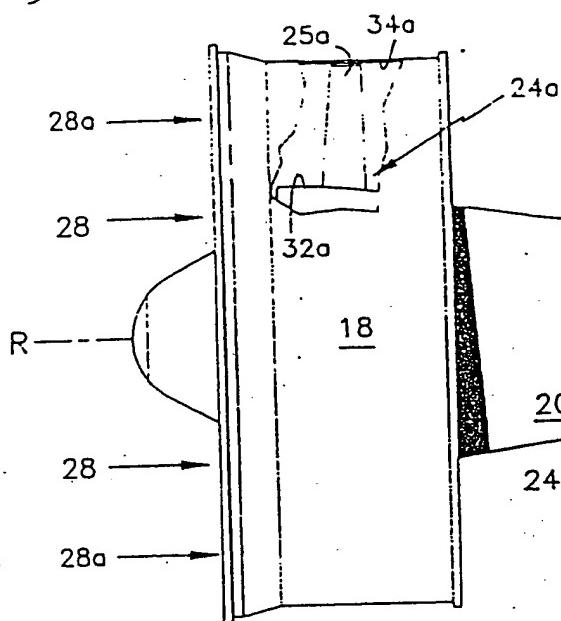


FIG. 1

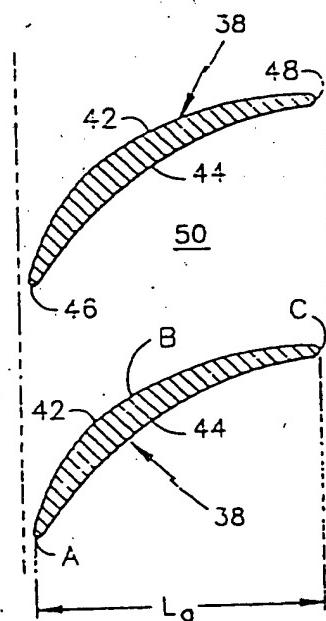
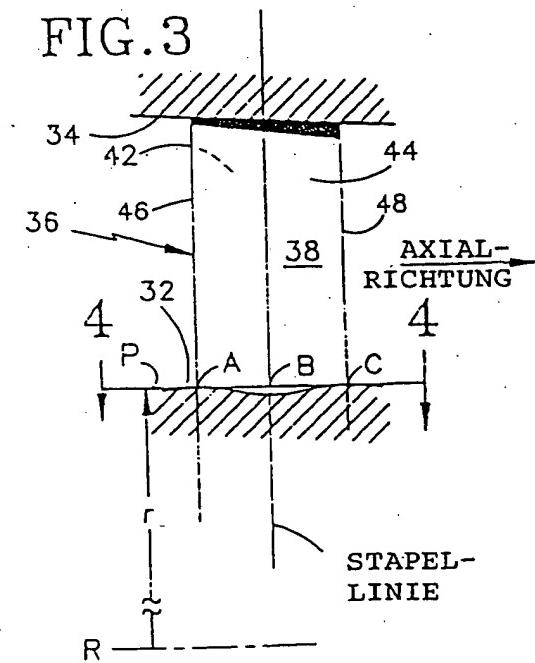
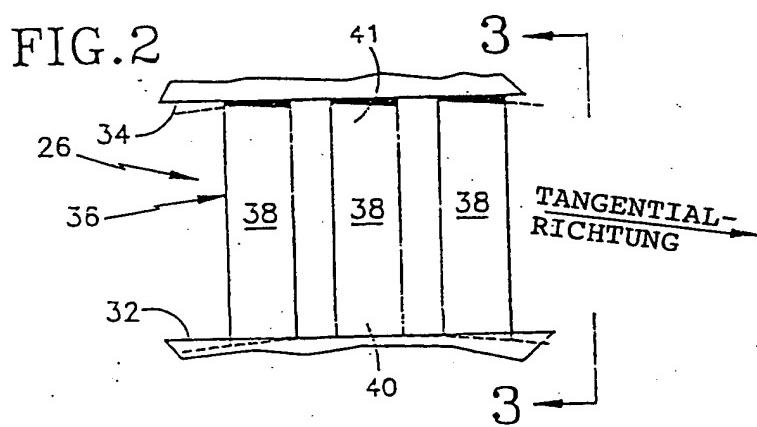


FIG. 4

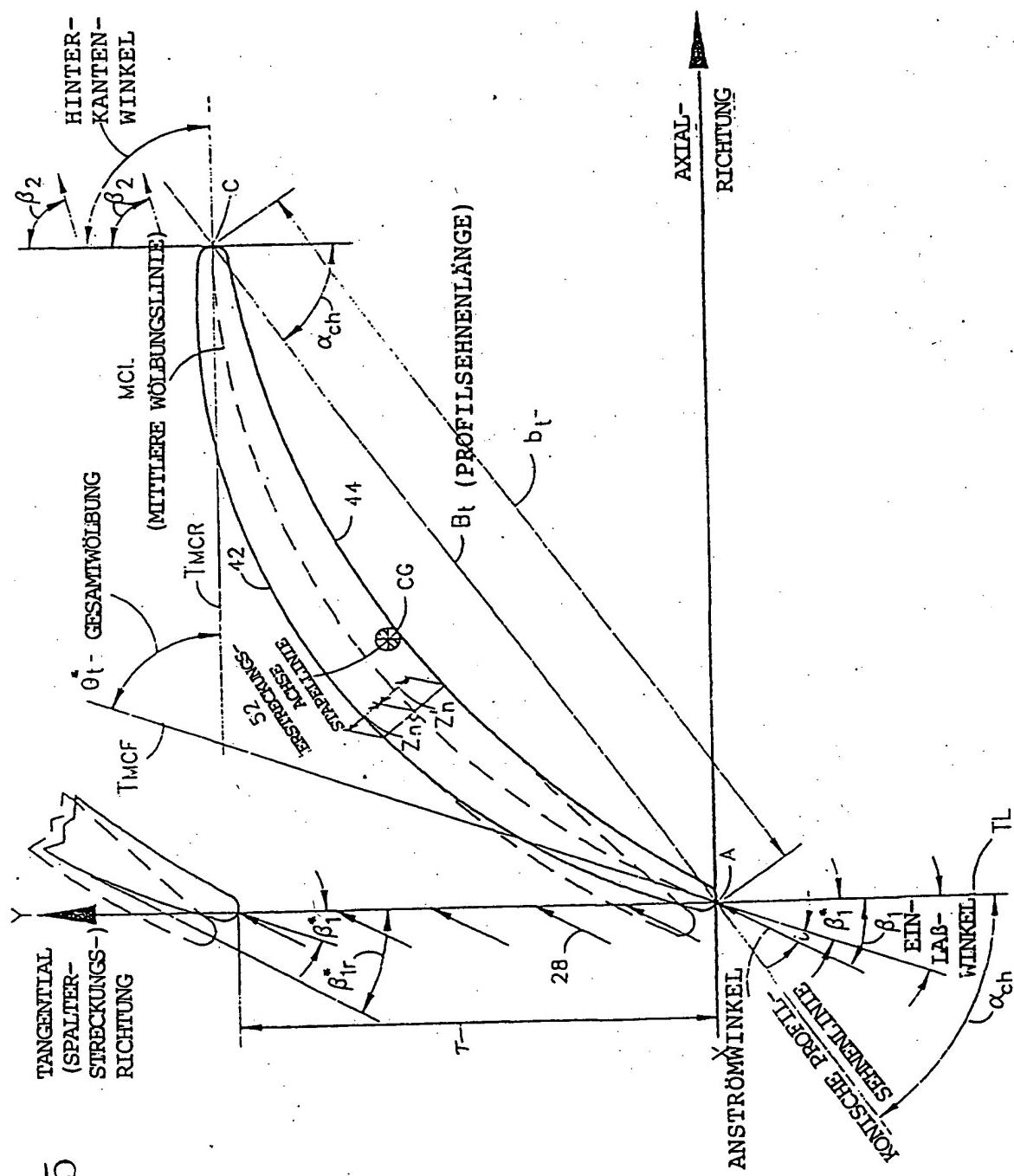
23.03.00

PCT/US94/07301

WO 96/00841

2 / 5

FIG. 5



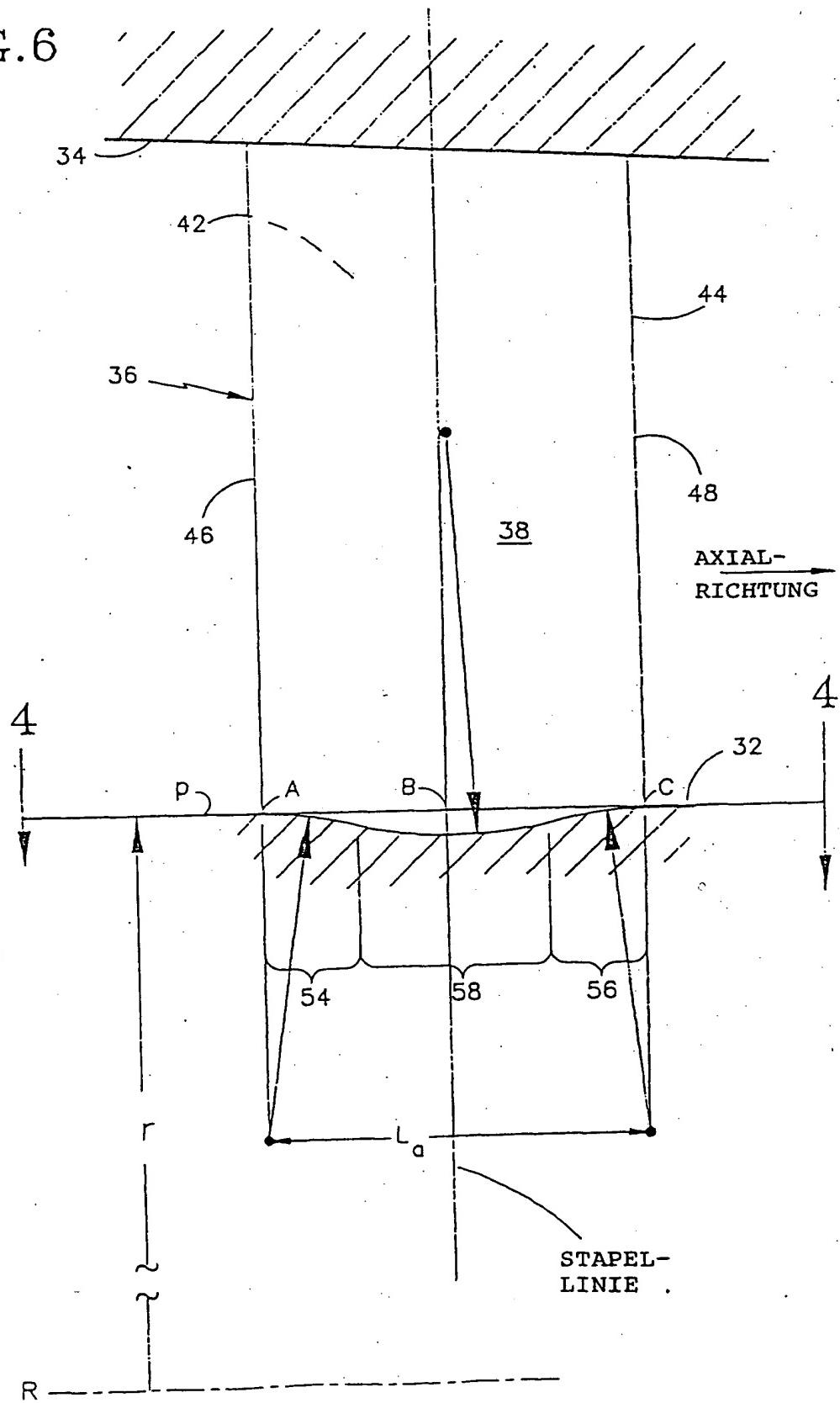
23.03.00

PCT/US94/07301

WO 96/00841

3/5

FIG.6



23.03.00

PCT/US94/07301

WO 96/00841

5/5

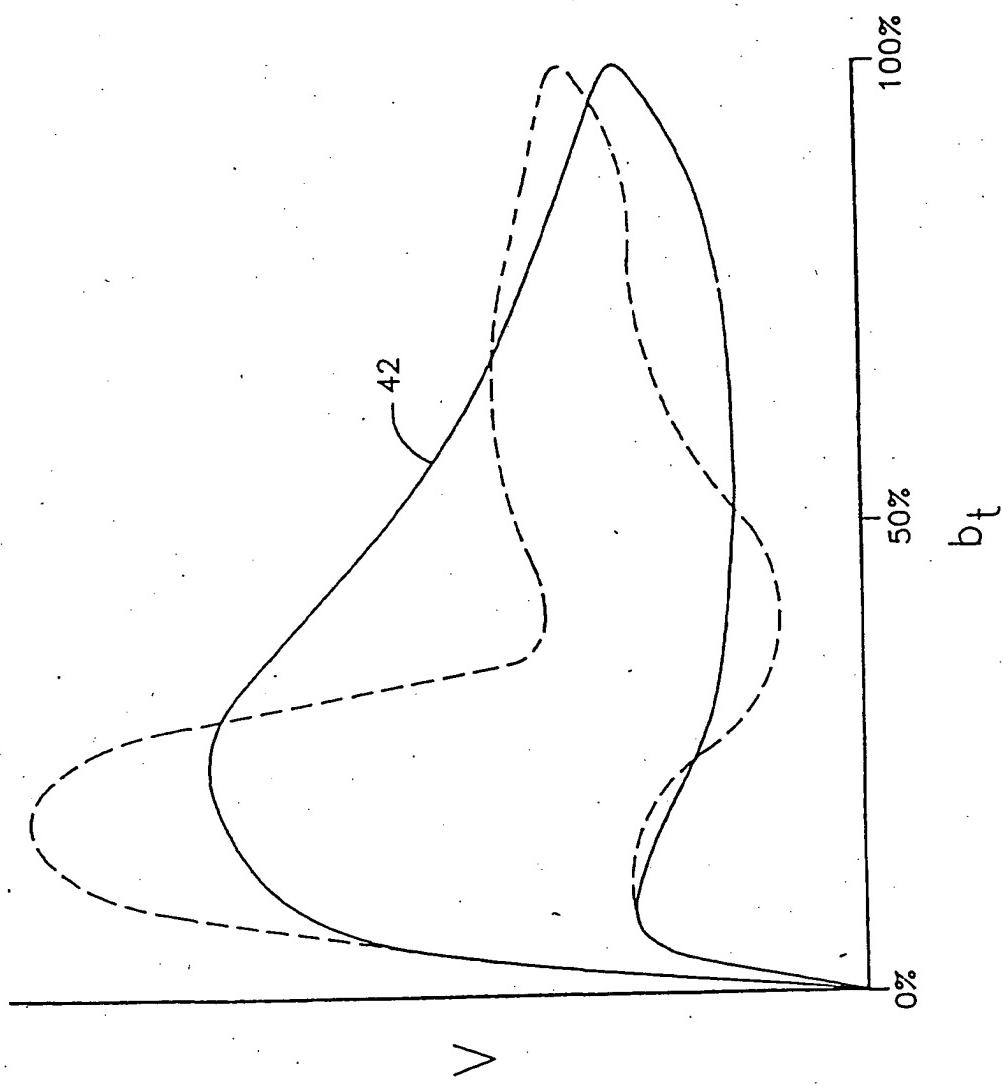


FIG. 9